

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

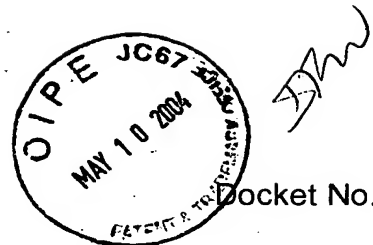
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



Docket No.: SGL 02/13

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as First Class Mail in an envelope addressed to the Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on the date indicated below.

By: Werner H. Stemer Date: May 7, 2004

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applic. No. : 10/662,625 Confirmation No: 9768  
Applicant : Bodo Benitsch, et al.  
Filed : September 15, 2003  
Art Unit : 1771  
Title : Fiber-Reinforced Composite Ceramic, Fabrication Method and  
Lining Material, Armor, Reflective Surface and Component  
Having the Composite Ceramic  
Docket No. : SGL 02/13  
Customer No. : 24131

CLAIM FOR PRIORITY

Commissioner for Patents,  
P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

Claim is hereby made for a right of priority under Title 35, U.S. Code, Section 119, based upon the German Patent Application 102 42 566.3, filed September 13, 2002.

A certified copy of the above-mentioned foreign patent application is being submitted herewith.

Respectfully submitted,

Werner H. Stemer

Werner H. Stemer

WERNER H. STEMER  
REG. NO. 34,956

Date: May 7, 2004  
Lerner and Greenberg, P.A.  
Post Office Box 2480  
Hollywood, FL 33022-2480  
Tel: (954) 925-1100  
Fax: (954) 925-1101

/av



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 42 566.3

**Anmeldetag:** 13. September 2002

**Anmelder/Inhaber:** SGL CARBON AG, 65203 Wiesbaden/DE

**Bezeichnung:** Faserverstärkte Verbundkeramik und Verfahren  
zu deren Herstellung

**IPC:** C 04 B, F 41 H, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. April 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Agurks

## Faserverstärkte Verbundkeramik und Verfahren zu deren Herstellung

Die Erfindung betrifft faserverstärkte Verbundkeramik mit einer Siliciumcarbid (SiC) und/oder  
5 Silicium (Si) enthaltenden Matrix sowie ein Verfahren zu deren Herstellung.

In der DE 197 10 105 A1 wird eine mit hochfesten Graphitkurzfasern verstärkte Verbundkeramik mit einer im wesentlichen aus SiC bestehenden Matrix beschrieben, auch C/SiC-Werkstoff genannt. Die Matrix des keramischen Verbundwerkstoffs wird im wesentlichen durch die Flüssigsilicierung eines  
10 Kohlenstoffvorkörpers mit einer Siliciumschmelze gebildet. Die verstärkenden Kurzfasern sind von mindestens zwei Hüllen aus graphitiertem Kohlenstoff umgeben, welcher durch die Carbonisierung und Graphitierung von Imprägniermitteln, insbesondere aus Kunstharz oder Pech, gebildet wird, wobei zumindest die äußerste Hülle durch Reaktion mit flüssigem Silicium zu Siliciumcarbid umgewandelt ist. Die zur Verstärkung eingesetzten Faserbündel werden erhalten, indem Faserprepregs  
15 mindestens einmal mit carbonisierbarem Imprägniermittel verdichtet und carbonisiert, graphitiert, sowie hierauf zu Kurzfaserbündeln aufgemahlen werden. Die aufgemahlenen Faserbündel werden mit Füllmitteln und Bindemitteln gemischt und zu Grünkörpern verpreßt, welche daraufhin carbonisiert und mit flüssigem Silicium infiltriert werden. Der hierdurch erhältliche Verbundwerkstoff weist ein quasiduktilen Bruchverhalten mit einer Bruchdehnung von ca. 0,25 bis 0,5 % auf. Die Dichte des  
20 Verbundwerkstoffs beträgt  $2,27 \text{ g/cm}^3$ .

Durch das bekannte Verfahren ist es nicht möglich, die Dichte durch gesteigerte SiC-Bildung signifikant zu erhöhen, ohne die Bruchdehnung deutlich zu verringern. Für eine Reihe von Anwendungen ist aber eine hohe Dichte bzw. eine geringe Porosität bei gleichzeitig hoher Bruchdehnung oder bruchzähem Verhalten des C/SiC-Werkstoffs entscheidend. So sind bei Verwendung von Verbundwerkstoffen zum ballistischen Schutz, beispielsweise als geschoßhemmende Beschußplatten, eine geringe Porosität und ein hoher Keramikgehalt von Bedeutung, um eine geschoßbrechende Wirkung zu erzielen. Gleichzeitig ist auch eine hohe Bruchdehnung des Werkstoffs erwünscht, um beim Auftreffen der Geschosse Sprödbrüche zu verhindern. Weiterhin spielt bei  
30 Hochtemperaturanwendungen eine geringe Porosität bzw. eine hohe Dichte eine wichtige Rolle, da durch offene Poren Luft an die Kohlenstofffasern gelangen und diese oxidativ schädigen kann.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, einen Verbundwerkstoff bereitzustellen, der neben einer hohen Materialdichte gleichzeitig auch eine hohe Bruchzähigkeit aufweist, und ein Verfahren zu dessen  
35 Herstellung anzugeben.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist daher eine faserverstärkte Verbundkeramik gemäß Anspruch 1 mit einer Si und SiC enthaltenden Matrix, einer Dichte von größer als  $2,5 \text{ g/cm}^3$  und einer Bruchdehnung von mehr als 0,3 %.

- 5 Weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren gemäß Anspruch 5, umfassend die Schritte :
- a) Herstellung einer Mischung enthaltend Kohlenstoffasern, carbonisierbares Bindeharz und zusätzliches Kohlenstoffmaterial, welches eine Rohdichte im Bereich von  $0,7$  bis  $1,8 \text{ g/cm}^3$  aufweist,
  - b) Pressen der Mischung zu einem faserverstärkten Grünkörper,
  - 10 c) Carbonisieren des Grünkörpers zur Herstellung eines C/C-Körpers
  - d) Infiltration des C/C-Körpers mit einer Siliciumschmelze.

Unter der Rohdichte ist die geometrische Dichte zu verstehen, die durch das Messen der Masse eines genau gegebenen Probenvolumens erfolgt. Im folgenden ist unter Dichte generell die Rohdichte zu verstehen.

Das Verfahren zur Herstellung des mit Kohlenstoffasern verstärkten SiC-Keramikverbundwerkstoffs mit hoher Dichte und hoher Bruchdehnung sieht gemäß Schritt a) zunächst die Herstellung einer preßfähigen Mischung enthaltend Kohlenstoffasern, insbesondere Kohlenstoffaserbündel, carbonisierbares Bindeharz und zusätzliches Kohlenstoffmaterial vor.

Die Kohlenstoffaserbündel werden bevorzugt durch beschichtete Kohlenstoffkurzfasern gebildet, die typischerweise durch Polymer oder Kohlenstoff zu Bündeln zusammengehalten werden.

Als carbonisierbares Bindeharz werden bevorzugt Phenol- oder Furfurylalkoholharze eingesetzt.

Als zusätzliches Kohlenstoffmaterial werden vorzugsweise ungeschütztes Fasermaterial, Graphit, carbonisierte Bindemittel, Verkokungsrückstände oder dergleichen eingesetzt. Das zusätzliche Kohlenstoffmaterial hat die Aufgabe, sich als „Opfermaterial“ als erstes bei der Siliciumschmelzinfiltration zu SiC umzusetzen. Bei dem Flüssigsilicierverfahren wird eine hohe SiC-Ausbeute angestrebt. Bisherigen Anstrengungen zur Erzielung hoher Verbundwerkstoffdichten lag die Annahme zugrunde, daß das Kohlenstoffmaterial einen möglichst hohen Kohlenstoffgehalt aufweisen muß, wie dieser beispielsweise bei Graphit vorliegt, um möglichst viel SiC ausbilden zu können.

Die von der Anmelderin durchgeführten Untersuchungen zeigten jedoch, daß sich Naturgraphit nicht in ausreichenden Mengen zusetzen ließ, um einen Körper mit hoher Dichte zu erzeugen. Die mit der Reaktion des Naturgraphits in SiC einhergehende starke Volumenzunahme des Reaktionsproduktes SiC gegenüber den Ausgangsstoffen Si und C führte nämlich bei höheren Graphitmengen zu einem

5    Aufblähen oder Sprengen des Verbundwerkstoffkörpers, weil bei der Reaktion zwischen Naturgraphit und Silicium zu SiC eine starke Volumenzunahme von ca. 135 % stattfindet. Bei höheren Graphitmengen kann dieses Verhalten zu einer Geometrieveränderung oder gar Zerstörung des Formkörpers führen.

10    Es wurde erkannt, daß neben seiner chemischen Reaktivität insbesondere die Dichte des Kohlenstoffmaterials in dem zur Siliciumschmelzinfiltration vorgesehenen C/C-Körper für die Dichte der hieraus gebildeten SiC-Matrix und die Restporosität des keramischen Verbundwerkstoffs verantwortlich sind. Es wurde festgestellt, daß die Umwandlung des Kohlenstoffmaterials durch die Flüssigsilicierung nur dann zu dichtem SiC und der Füllung der Restporosität des hierdurch gebildeten

15    C/SiC-Körpers führt, wenn die Dichte des Kohlenstoffmaterials innerhalb bestimmter Grenzen liegt. Erfindungsgemäß wird der preßfähigen Mischung zusätzliches Kohlenstoffmaterial mit einer mittleren Dichte im Bereich von 0,7 bis 1,8 g/cm<sup>3</sup>, bevorzugt 0,7 bis 1,6 g/cm<sup>3</sup> und besonders bevorzugt 0,7 bis 1,3 g/cm<sup>3</sup> zugesetzt. Die Dichte des erfindungsgemäß geeigneten Kohlenstoffmaterials liegt folglich deutlich unterhalb der Dichte von Naturgraphit (2,25 g/cm<sup>3</sup>). Durch die Verwendung eines

20    Kohlenstoffmaterials mit einer Dichte innerhalb des erfindungsgemäßen Bereichs ist außerdem sichergestellt, daß die Umwandlung in SiC zu keiner für den Verbundwerkstoff schädlichen Volumenzunahme führt.

Insbesondere expandierter Graphit, vorzugsweise nach einer Zwischenverdichtung, weist eine Dichte auf, welche innerhalb des genannten Bereichs liegt. Ein weiterer Vorteil von expandiertem Graphit liegt in dessen hoher Reaktivität gegenüber der Siliciumschmelze, was zu gleichmäßiger Silicierung und kurzer Reaktionszeit führt. Der expandierte Graphit wird beispielsweise durch die thermische Zersetzung eines Graphit-Interkalationsprodukts gewonnen. Hierbei sind insbesondere die Verbindungen auf der Basis Graphit/Schwefelsäure, Graphit/Salpetersäure oder Graphit/Perchlorsäure

30    von Bedeutung. Expandierter Graphit wird weiterhin durch kurzzeitiges Erhitzen von Graphitsalzen oder Graphit-Einlagerungsverbindungen wie Graphithydrogensulfaten oder Graphitnitraten oder Graphitperchloraten, wie beispielsweise in der Patentanmeldung EP 112 03 78 A1 beschrieben, in Form einer lockeren, wurmförmigen Substanz gewonnen. Durch Verdichten des expandierten Graphits können Graphitfolien oder -platten erzeugt werden. Diese Folien oder Platten aus expandiertem

35    Graphit weisen eine Rohdichte von 0,7 bis 1,8 g/cm<sup>3</sup> auf. Zerkleinert man den so vorverdichteten

expandierten Graphit mit Hilfe einer Schneid-, Prall- oder Strahlmühle, erhält man ein gut verarbeitbares expandiertes Graphitpulver, welches sich feinverteilt und homogen in Preßmassen einmischen läßt. Die Rohdichte des zerkleinerten Pulvers weicht im allgemeinen nur unwesentlich von derjenigen der Graphitfolien ab.

- 5 Das zerkleinerte Pulver aus vorverdichtetem expandiertem Graphit weist typischerweise eine Schüttdichte im Bereich von 0,04 bis 0,18 g/cm<sup>3</sup> auf. Bevorzugt wird ein Pulver mit einer Schüttdichte von 0,05 bis 0,14 und besonders bevorzugt von 0,06 bis 0,1 g/cm<sup>3</sup> eingesetzt.

- 10 Unverdichtetes bzw. ungemahlenes Pulver aus expandiertem Graphit weist im Gegensatz hierzu im allgemeinen mit ca. 0,002 bis 0,008 g/cm<sup>3</sup> eine wesentlich geringere Schüttdichte auf. Diese geringe Dichte macht eine Verarbeitung nach dem angegebenen Prozeß zur Herstellung von Verbundkeramiken außerordentlich schwierig.

- 15 Neben der Dichte des Materials sind auch Partikelgröße und Morphologie des zusätzlichen Kohlenstoffmaterials von Bedeutung. In Verbundwerkstoffen führen insbesondere die faser- oder plättchenförmigen Verstärkungsmaterialien zu hohen Verstärkungseffekten. In einer bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung wird ein plättchenförmiges Kohlenstoffmaterial eingesetzt. Dieses wird bevorzugt durch expandierten Graphit gebildet. Besonders bevorzugt ist expandierter Graphit, welcher auf eine Dichte von ca. 1 g/cm<sup>3</sup> vorverdichtet wurde. Die Vorverdichtung läßt sich beispielsweise  
20 durch Pressen zu Graphitfolien erreichen. Die Graphitfolien lassen sich ihrerseits sehr einfach zu einer definierten Partikelgröße zerkleinern. Die plättchenförmigen Partikel weisen ein Höhe/Durchmesser-Verhältnis von größer als 50, bevorzugt größer als 80 und besonders bevorzugt größer als 120 auf. Die Morphologie der bevorzugt eingesetzten plättchenförmigen Kohlenstoffpartikel mit einer Dichte von ca. 1 g/cm<sup>3</sup> ist in Fig. 1 gezeigt.

25 Darüber hinaus kann das zusätzliche Kohlenstoffmaterial auch eine faserförmige Gestalt aufweisen. Faserförmige Kohlenstoffmaterialien geeigneter Dichte und Reaktivität bilden insbesondere Kohlenstoffnanoröhrchen (carbon nanotubes).

- 30 Die geeignete mittlere Partikelgröße des zusätzlichen Kohlenstoffmaterials, insbesondere des plättchenförmigen Materials, liegt unterhalb 500 µm, bevorzugt im Bereich von 0,1 bis 300 µm und besonders bevorzugt im Bereich von 0,1 bis 100 µm. Die Partikelgröße bezieht sich hierbei auf die agglomeratfreien Primärpartikel. Der Massenanteil an Kohlenstoffmaterial ist vorzugsweise kleiner als 45 % in der preßfähigen Mischung. Besonders bevorzugt sind Massenanteile im Bereich von 2 bis  
35 35 %.

Die Formgebung der preßfähigen Masse gemäß Schritt b) erfolgt üblicherweise in einer Presse, wobei die Härtung der Masse thermisch oder katalytisch durchgeführt werden kann. Je nach Massekonsistenz können aber auch andere Druckformgebungsverfahren verwendet werden. Insbesondere der Zusatz an expandiertem Graphit führt zu einer vergleichsweise guten Gleit- und Fließfähigkeit der Masse, so daß sich auch Spritzguß oder verwandte Formgebungsverfahren durchführen lassen.

Der hierdurch erhaltene Grünkörper wird zur Herstellung des kohlenstoffhaltigen porösen Vorkörpers (C/C-Körper) gemäß Schritt c) bei Temperaturen im Bereich von ca. 750 bis 1200 °C unter Luftausschluß geglüht, beziehungsweise carbonisiert. Hierbei wird unter anderem das Binderharz zu Kohlenstoff zersetzt. Gegebenenfalls wird die Carbonisierung auch bis zu Temperaturen nahe 2400 °C durchgeführt. Bei diesen Temperaturen setzt die Graphitierung noch nicht graphitischen Kohlenstoffs ein.

Im letzten Verfahrensschritt d) wird der C/C-Körper nach den üblichen Verfahren, bevorzugt über Dochte, mit einer Siliciumschmelze infiltriert. Hierbei findet die Umwandlung zumindest eines Teils des Kohlenstoffs des C/C-Körpers zu SiC statt, wobei ein keramischer Verbundwerkstoff mit überwiegend aus SiC aufgebauter Matrix gebildet wird. Als weitere Matrixbestandteile treten im keramischen Verbundwerkstoff Restsilicium und Restkohlenstoff auf. Durch die Verwendung von expandiertem Graphit als bevorzugtes zusätzliches Kohlenstoffmaterial kann ein vergleichsweise geringer Gehalt an Restsilicium eingestellt werden. So liegt der Massenanteil an freiem Silicium (Restsilicium) im erfindungsgemäßen keramischen Verbundwerkstoff vorzugsweise unterhalb von 10 %. Für die Anwendung als ballistisches Schutzmaterial oder als Bestandteil von Panzerplatten wird der Massenanteil an Si bevorzugt auf weniger als 7 % eingestellt. Entsprechend dem geringen Gehalt an Restsilicium können vergleichsweise hohe SiC-Gehalte erreicht werden. Der keramische Verbundwerkstoff weist vorzugsweise einen Massenanteil an SiC von mehr als 60 % auf. Ein hoher SiC-Gehalt ist insbesondere bei den Anwendungen für den ballistischen Schutz von Bedeutung. Hier liegt der bevorzugte Massenanteil an SiC oberhalb von 70 %.

Darüber hinaus können außer Silicium weitere Metalle in der zur Infiltration vorgesehenen Siliciumschmelze vorhanden sein, beispielsweise wird Fe, Cr, W oder Mo verwendet, wobei deren Massenanteil in der Schmelze üblicherweise ca. 20 % nicht übersteigt. Besonders bevorzugt wird als weiteres carbidbildendes Metall Ti verwendet. Silicium wird im Rahmen dieser Anmeldung ebenfalls als Metall bezeichnet.

Der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte keramische Verbundwerkstoff weist eine Dichte von mehr als  $2,5 \text{ g/cm}^3$  auf, wobei dieser Wert sich auf die Infiltration mit reinem Silicium bezieht. Bei Einsatz von Siliciumlegierungen mit einem Gehalt an Metallen höherer oder geringerer Dichte als der von Silicium sind diese Dichtebereiche den theoretischen Werten folgend sinngemäß anzupassen.

5 Die offene Porosität des faserverstärkten keramischen Verbundwerkstoffs liegt unterhalb von 5 %, die Bruchdehnung beträgt mehr als 0,3 %. Der mit dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellte Verbundwerkstoff vereint daher in vorteilhafter Weise eine hohe Werkstoffdichte bzw. eine geringe Porosität mit einer relativ hohen Bruchzähigkeit.

10 Aufgrund der hohen Dichte bzw. der geringen Porosität ist der Verbundwerkstoff insbesondere für thermisch belastete Bauteile unter oxidierenden oder korrosiven Bedingungen gut geeignet. Die geringe Porosität verhindert nämlich das Eindiffundieren von Luft und die durch Luft hervorgerufene oxidative Schädigung der Kohlenstoff-Verstärkungsfasern. Typische Anwendungsfelder sind daher auch Auskleidungen für Brennkammern oder Ofenräume.

15

Eine weitere Anwendung der erfindungsgemäßen faserverstärkten Verbundkeramik liegt im Gebiet der Panzerungsmaterialien. Bekanntermaßen eignen sich gerade keramische Werkstoffe gut als Plattenmaterial zur Panzerung und Schutz vor Geschossen. Gerade die hohe Werkstoffdichte des durch das erfindungsgemäße Verfahren hergestellten Verbundwerkstoffs resultiert in einer günstigen

20 geschoßbrechenden Wirkung. Für die Anwendung zum ballistischen Schutz werden Materialdichten von mehr als  $2,6 \text{ g/cm}^3$  bevorzugt. Gegenüber monolithischen Keramiken weisen die erfindungsgemäßen faserverstärkten Keramiken außerdem eine wesentlich höhere Bruchzähigkeit auf.

25 Eine weitere Anwendung nutzt in vorteilhafter Weise die durch die hohe Werkstoffdichte hervorgerufene gute Polierbarkeit der Verbundwerkstoffoberflächen. Dabei ist vorgesehen, den keramischen Verbundwerkstoff bei der Herstellung von Spiegeln in Leichtgewichtsstrukturen, insbesondere in Satellitenspiegeln zu verwenden. Auf bisher übliche Beschichtungen der Spiegeloberflächen mit gut polierbaren Gläsern oder Silicium kann dann verzichtet werden.

30 Weitere Anwendungen finden sich als Komponenten für Präzisionsmaschinen und Eich- oder Kalibrierkörpern. Hier ist die sehr geringe und gleichmäßige thermische Ausdehnung über einen großen Temperaturbereich des erfindungsgemäßen Verbundwerkstoffs von entscheidender Bedeutung. Aufgrund der hohen Festigkeit, Steifigkeit und Verschleißfestigkeit kann der Verbundwerkstoff auch direkt als Strukturbauteil hochbelasteter Maschinenkomponenten eingesetzt werden.

35

### Beschreibung der Ausführungsbeispiele

In der Tabelle 1 sind die mechanischen Eigenschaften wie Bruchfestigkeit, Bruchdehnung und Dichte von nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Verbundkeramiken (Proben PF 413, 414, 450, 460) einer nicht nach diesem Verfahren erzeugten Verbundkeramik (Proben PF 420, 444) in  
5 Abhängigkeit der in der Mischung verwendeten Ausgangsstoffe und deren Menge gegenübergestellt.

Für die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Proben PF 413, 414, 450 und 460 wurden jeweils kohlenstoffbeschichtete Kurzfaserbündel, Binderharz in Form von Phenolharz sowie expandierter Graphit mit einer Dichte von ca.  $1 \text{ g/cm}^3$  als zusätzliches Kohlenstoffmaterial zur  
10 Herstellung der Mischung verwendet. Die Proben unterschieden sich hinsichtlich der Menge von kohlenstoffbeschichteten Kurzfaserbündeln, von Kohlenstoffasern, von expandiertem Graphit sowie von Binderharz. Die unterschiedlichen Typen von Kurzfaserbündel (Typ A und Typ B) unterscheiden lediglich durch Filamentzahl und Morphologie der zur Faserbündelherstellung eingesetzten Faserstränge.

15

Die Proben PF 420 und 444 wurden mit Naturgraphit mit einer Dichte von  $2,25 \text{ g/cm}^3$  hergestellt. Wie bei den nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hergestellten Proben wurden bei diesen Proben kohlenstoffbeschichtete Kurzfaserbündel verwendet.

20 Die Ergebnisse zeigen, daß sich durch den Zusatz von expandiertem Graphit eine Steigerung der Dichte des Verbundwerkstoffs gegenüber der Vergleichsprobe PF 420 (5 % Naturgraphit, 47 % Phenolharz) von  $2,26 \text{ g/cm}^3$  auf bis zu  $2,75 \text{ g/cm}^3$  einstellt, ohne daß sich die Bruchdehnung oder die Bruchfestigkeit reduziert. Die Vergleichsprobe PF 444 zeigt, daß sich diese Ergebnisse mit dem wesentlich dichteren Naturgraphit (Dichte  $2,25 \text{ g/cm}^3$ ) nicht erreichen lassen. Die Proben der  
Versuchsreihe PF 444 mit 10 % Naturgraphit wurden durch die Reaktion des Graphits zu SiC stark aufgebläht und teilweise völlig zerstört.

30

35

Tabelle 1: Mechanische Eigenschaften der Proben in Abhängigkeit von Typ und Menge der Ausgangsstoffe

Probe Nr. PF ...	Kohlenstoff-Fasern	Kohlenstoff-material	Massenanteil von Kohlenstoffmaterial in %	Dichte Kohlenstoff-material in g/cm <sup>3</sup>	Massen-anteil Phenol-Harz in %	Bruch-Festigkeit in MPa	Bruch-dehnung in %	Dichte in g/cm <sup>3</sup>
413	Typ A 48 %	Expandierter Graphit	4	1	48	44	0,25	2,56
414	Typ A 50 %	Expandierter Graphit	10	1	40	55	0,3	2,52
450	Typ B 60 %	Expandierter Graphit	10	1	30			2,60
460	Typ B 55 %	Expandierter Graphit	15	1	30			2,75
444	Typ A 50 %	Naturgraphit	10	2,25	40	Probekörper aufgebläht und zerstört		

5

Die Ergebnisse werden ebenfalls durch die Abbildungen Fig. 1 bis Fig. 3 (Schliffbilder) erläutert. Dabei zeigen

Fig 1:

Plättchenförmige Kohlenstoffpartikel einer Dichte von ca. 1 g/cm<sup>3</sup>

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme

Fig 2:

Vergleichsprobe ohne Zusatz von Kohlenstoffmaterial

15 Das Schliffbild zeigt Bereiche aus Siliciumcarbid (1), Silicium (2), Kohlenstoffasern (3) und Poren (4)

Fig 3:

Probe PF 460, hergestellt mit expandiertem Graphit

Das Schliffbild zeigt Bereiche aus Siliciumcarbid (1), Silicium (2), Kohlenstoffasern (3) und Poren (4)

Der Einfluß des expandierten Graphits wird insbesondere durch einen Vergleich der Gefüge (Darstellung als Schliffbild) der C/SiC-Keramiken mit Graphitzusatz und ohne Zusatz von Kohlenstoffmaterial deutlich. Die Vergleichsprobe, Fig. 2, bei der gänzlich auf den Zusatz von Kohlenstoffmaterial verzichtet wurde, zeigt neben den Phasen aus SiC (1) und den Kohlenstoffasern oder -faserbündeln (3) noch vergleichsweise große Bereiche aus Si-Phasen (2) oder Poren (4), die beide für die geforderten Werkstoffeigenschaften unerwünscht sind.

Im Gegensatz hierzu weist die Probe PF 460 mit einem Zusatz an 15 % expandiertem Graphit, Fig. 3, nur noch sehr kleine Bereiche mit Si-Phasen (2) auf. Auch die Anzahl der Poren (4) und deren Querschnittsfläche ist hier deutlich reduziert. In vorteilhafter Weise werden die Kohlenstofffaserbündel fast ausnahmslos vollständig von einer dichten SiC-Matrix umhüllt.

### Bezugszeichenliste

1	Phasen von Siliciumcarbid
5	
2	Phasen von Silicium
3	Kohlenstoffasern, Kohlenstoffaser-Bündel
10	4 Poren

## Patentansprüche

1. Faserverstärkte Verbundkeramik mit einer SiC und/oder Si enthaltenden Matrix, dadurch gekennzeichnet, daß sie eine Dichte von größer als  $2,5 \text{ g/cm}^3$  und eine Bruchdehnung von mehr als 0,3 % aufweist.
2. Faserverstärkte Verbundkeramik nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die verstärkenden Fasern Kohlenstofffasern sind.
3. Faserverstärkte Verbundkeramik nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß ihre Porosität weniger als 5 % beträgt.
4. Faserverstärkte Verbundkeramik nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sie einen Massenanteil an SiC von mehr als 60 % aufweist.
5. Verfahren zur Herstellung faserverstärkter Verbundkeramik mit einer SiC und/oder Si enthaltenden Matrix, umfassend die Schritte :
  - a) Herstellung einer Mischung enthaltend Kohlenstofffasern, carbonisierbares Bindeharz und zusätzliches Kohlenstoffmaterial, das eine Rohdichte im Bereich von  $0,7$  bis  $1,8 \text{ g/cm}^3$  aufweist,
  - b) Pressen der Mischung zu einem faserverstärkten Grünkörper,
  - c) Carbonisieren des Grünkörpers zur Herstellung eines C/C-Körpers, und
  - d) Infiltration des C/C-Körpers mit einer Siliciumschmelze.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das zusätzliche Kohlenstoffmaterial vor den Kohlenstofffasern und dem carbonisierten Bindeharz als erstes mit dem Silicium im Verfahrensschritt d) reagiert.
7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das zusätzliche Kohlenstoffmaterial mit einem Massenanteil von 2 bis 35 % in der Mischung des Verfahrensschritts a) eingesetzt wird.
8. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das zusätzliche Kohlenstoffmaterial durch Pressen von expandiertem Graphit zu Folien und durch anschließendes Zerkleinern der Folien gebildet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß als zusätzliches Kohlenstoffmaterial plättchenförmige kohlenstoffhaltige Partikel eingesetzt werden.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß plättchenförmige Partikel mit einer  
5 mittlere Partikelgröße unterhalb von 500 µm eingesetzt werden.
11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß plättchenförmige Partikel mit einem Höhe/Durchmesser-Verhältnis von größer als 50 eingesetzt werden.
- 10 12. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß der expandierte Graphit durch thermische Zersetzung von Interkalationsverbindungen aus Graphit und Schwefelsäure, Salpetersäure und/oder Perchlorsäure gebildet wird.
13. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß expandierter Graphit mit einer  
15 Rohdichte im Bereich von 0,7 bis 1,3 g/cm<sup>3</sup> eingesetzt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß zerkleinertes Pulver aus vorverdichtetem expandiertem Graphit mit einer Schüttdichte von 0,04 bis 0,18 g/cm<sup>3</sup> eingesetzt wird.
- 20 15. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das zusätzliche Kohlenstoffmaterial unter den Preßbedingungen zur Herstellung des Grünkörpers höchstens bis zu einer Dichte von 1,6 g/cm<sup>3</sup> nachverdichtet wird.
- 23 16. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß gebündelte Kohlenstofffasern mit einer mittleren Länge von weniger als 80 mm eingesetzt werden.
17. Verwendung von Verbundkeramik nach Anspruch 1 als Auskleidungsmaterial für Brennkammern oder Ofenräume.
- 30 18. Verwendung von Verbundkeramik nach Anspruch 1 als Schutzpanzerung gegen ballistische Einwirkungen oder Beschuß mit Projektilen.
19. Verwendung von Verbundkeramik nach Anspruch 1 zur Herstellung von spiegelnden Flächen.

20. Verwendung von Verbundkeramik nach Anspruch 1 zur Herstellung von Komponenten für Präzisionsmaschinen, Eich- oder Kalibrierkörpern.

### **Zusammenfassung**

5 Faserverstärkte Verbundkeramik mit einer SiC und/oder Si enthaltenden Matrix, einer Dichte von mehr als  $2,5 \text{ g/cm}^3$  und einer Bruchdehnung von mehr als 0,3 %, Verfahren zu deren Herstellung, umfassend die Schritte Herstellung einer Mischung enthaltend Kohlenstoffasern, carbonisierbares Bindeharz und zusätzliches Kohlenstoffmaterial, welches eine Rohdichte im Bereich von 0,7 bis  $1,8 \text{ g/cm}^3$  aufweist, Pressen der Mischung zu einem faserverstärkten Grünkörper, Carbonisieren des Grünkörpers zur Herstellung eines C/C-Körpers, und Infiltration des C/C-Körpers mit einer Silicium-  
10 schmelze, derart hergestellte Verbundkeramik und Verwendung dieser Verbundkeramik als Auskleidungsmaterial, Schutzpanzerung oder zur Herstellung von spiegelnden Flächen

Fig. 1



Fig. 2

Fig. 3

